

O reuso industrial de água residuária tratada: o estado da arte por meio de uma revisão sistemática de literatura

Rodolfo Luiz Tercetti¹ e Hygor Aristides Victor Rossoni^{1,2}

¹Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Bambuí. Mestrado Profissionalizante em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental. Fazenda Varginha. Rodovia Bambuí/Medeiros, km 05. Caixa Postal 05. Bambuí-MG, Brasil (CEP 38900-000).

*E-mail: rodolfotercetti@hotmail.com.

²Universidade Federal de Viçosa. *Campus* Florestal. Rodovia LMG 818, km 06, S/Nº. *Campus* Universitário. Florestal-MG, Brasil (CEP 35690-000).

Resumo. Mesmo com a abundância de água no nosso planeta, sabe-se que o percentual para uso como recurso hídrico é baixo. O setor ferroviário tem grande demanda de uso de água, principalmente na área de desgasificação, lavagem e aferição de vagões. O objetivo desta revisão sistemática foi avaliar potencialidades e limitações de reuso de efluentes industriais tratados. Utilizou-se a metodologia de forma a utilizar um conjunto mínimo de itens baseado em evidências para relatar estudos em revisões sistemáticas e meta-análises (metodologia PRISMA) para compor a revisão de literatura. Para a pesquisa, empregou-se em português, espanhol e inglês as palavras-chave estações de tratamento de efluentes, indústrias e reuso de água. Ao final dos procedimentos de seleção, foram utilizados 17 artigos para a composição da revisão. Com o estudo dos artigos selecionados observou-se uma predominância de referenciais que destacam a potencialidade das diferentes formas e tecnologias para o reuso de águas residuárias industriais, porém, não há trabalhos que tratam a sua utilização no setor ferroviário. Com base nisso, conclui-se que um dos maiores desafios encontrados é adequar a qualidade da água necessária para cada uso dentro dos diferentes setores da ferrovia, estando esses aos parâmetros necessários para seus fins. Isso indica a importância e relevância de estudos com esta temática, que poderão servir como apoio para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Oficina de manutenção ferroviária; Abastecimento de água industrial; Efluentes industriais.

Abstract. *The industrial reuse of treated wastewater: The state of the art through a systematic literature review.* Even with the abundance of water on our planet, it is known that the percentage for use as a water resource is low. The railway sector has a great demand for water use, mainly in the area of degassing,

Recebido
03/06/2022

Aceito
21/12/2022

Publicado
31/12/2022



Acesso aberto



ORCID

0000-0002-4709-0686
Rodolfo Luiz Tercetti

0000-0002-6088-6144
Hygor Aristides Victor
Rossoni

washing and gauging of wagons. The objective of this systematic review was to evaluate the potential and limitations of reuse of treated industrial effluents. The methodology was used in order to use a minimum set of evidence-based items to report studies in systematic reviews and meta-analyses (PRISMA methodology) to compose the literature review. For the research, the keywords effluent treatment plants, industries and water reuse were used in Portuguese, Spanish and English. At the end of the selection procedures, 24 articles were used to compose the review. With the study of the selected articles, there was a predominance of references that highlight the potential of different forms and technologies for the reuse of industrial wastewater, however, there are no works that deal with its use in the railway sector. Based on this, one of the biggest challenges encountered is to adapt the quality of the water needed for each use within the different sectors of the railroad, being these to the parameters necessary for their purposes. This indicates the importance and relevance of studies with this theme, which may serve as support for future works.

Keywords: Railway maintenance workshop; Industrial water supply; Industrial effluents.

Introdução

A água é um recurso que pode se tornar escasso e, por isso, exige cuidados em relação à quantidade de uso e a manutenção da sua qualidade compatível com os diversos usos. Como forma de melhoria no seu uso, a fim de se evitar desperdícios, as indústrias buscam observar como a água é distribuída regionalmente, fazem planejamento e custeio de tratamento, conservação e proteção (Brito et al., 2018).

O Brasil possui grande potencial hidrográfico, distribuído em uma das mais extensas e densas redes hidrográficas do mundo. Ainda assim, uma análise mais detalhada da condição brasileira demonstra um cenário de escassez não somente em áreas de climatologia desfavorável, mas também em regiões urbanizadas. Isso acontece porque os recursos hídricos não são distribuídos homogeneamente pelo país, devido a sua ampla extensão, que ocasiona condições climáticas diferentes, afetando suas características hidrológicas (Tozato et al., 2013). Além disso, as ações antrópicas e o crescente processo de industrialização refletiram também na deterioração da qualidade hídrica, sendo como exemplos destas ações: a mineração; construção de barragens e represas; retificação e desvio do curso natural de rios; descarte de efluentes domésticos e industriais não tratados; desmatamento e uso inadequado do solo em regiões ripárias e planícies de inundação, introdução de espécies exóticas, da fauna e flora, entre outros (Goulart e Callisto, 2003).

O emprego da água na indústria pode dar-se de inúmeras maneiras, como, por exemplo, águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporadas aos produtos; lavagens de máquinas, tubulações e pisos; águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor (Hespanhol, 2002).

Com isso, nota-se uma tendência das indústrias em atentar-se com relação ao grande consumo de água, buscando estratégias que visam minimizar esta demanda, gerando sustentabilidade, e diminuição na demanda dos recursos hídricos (Holanda, 2020).

Carvalho et al. (2014) abordam como vantagens do reuso dos efluentes tratados a preservação da água potável; redução do lançamento de efluentes diretos no meio ambiente, proporcionando o uso sustentável e menor agressão aos mananciais; estimulação do uso sustentável de efluentes; diminuição do consumo para uso industrial; diminuição nos gastos da empresa, sendo um método econômico e oferecer visão sustentável para outras empresas e indústrias.

Outra vantagem da aplicação do sistema de reuso nas indústrias é em relação a sua aplicabilidade, que é simples e eficaz, além de propiciar o uso por um maior tempo e com custo de manutenção reduzido (Cardoso et al., 2020).

Com base nisso, o objetivo do presente trabalho é avaliar, por meio de uma revisão sistemática de literatura, o contexto do reuso de águas industriais, evidenciando suas aplicações e limitações bem como os procedimentos a serem seguidos para a implementação dessa estratégia.

Material e métodos

Realizou-se o levantamento de publicações científicas, que abordaram a temática definida no trabalho. Para o estudo a coleção principal da base *Web of Science (WoS)* (<https://www.webofknowledge.com>) foi utilizada como banco de dados para realização da pesquisa, juntamente com artigos científicos nas plataformas *Google Scholar* (<https://scholar.google.com.br>) e *Scielo* (<https://scielo.br>).

Para a pesquisa utilizou-se as palavras-chave descritas na Tabela 1. Os filtros utilizados para a revisão foram preferencialmente publicações em inglês com relevância nos últimos cinco anos; as áreas temáticas buscadas para o estudo foram Engenharia Ambiental, Engenharia Civil e Ciências Ambientais, nas categorias recursos hídricos, estudos ambientais e planejamento e desenvolvimento.

Tabela 1. Palavras-chave utilizadas na pesquisa.

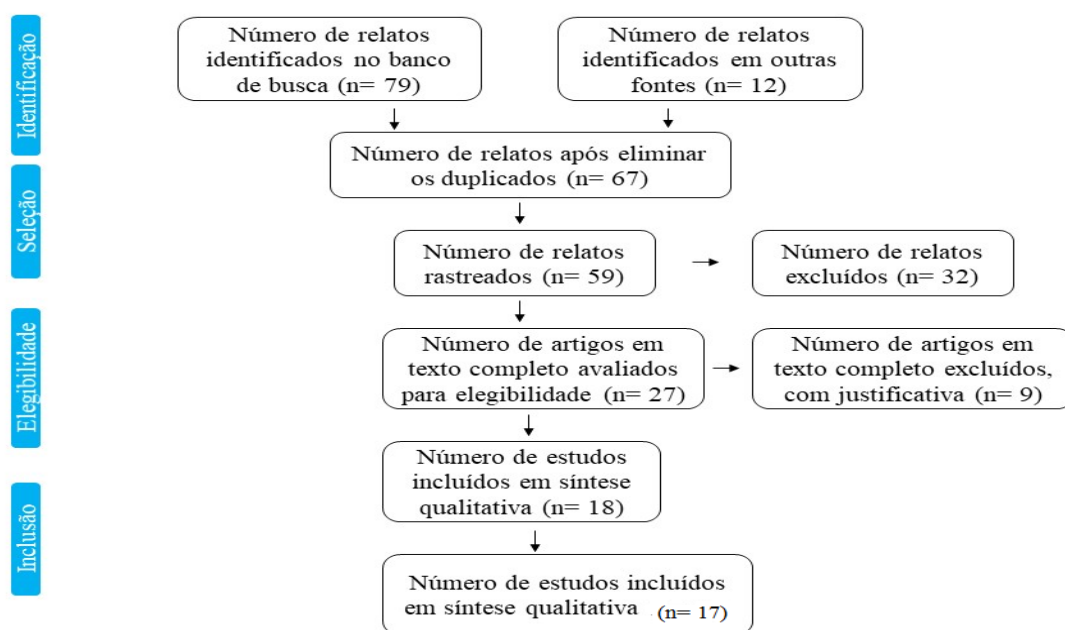
Idioma	Palavras-chave				
Português	Reuso de água	Estações de tratamento de efluentes	Indústrias	Água	Tratamento
Inglês	Water reuse	Effluent tratamento plants	Industries	Water	Treatment
Espanhol	Reutilización de agua	Estaciones de tratamiento de efluentes	Industrias	Agua	Tratamiento

Foi realizada uma revisão de literatura acerca do tema trabalhado. Considerando esse método qualitativo, a metodologia elaborada para este estudo comportou três nichos principais de abordagens complementares de levantamento de publicações, apresentados na Tabela 2.

O processo de seleção dos artigos para compor este trabalho seguiu as diretrizes propostas no fluxograma de análise das fases de elaboração de uma revisão sistemática utilizando a metodologia Principais Itens para Relatar Revisões sistemáticas e Meta-Análises (PRISMA). Utilizou-se um total de 79 artigos para a base deste estudo, sendo 18 citados no trabalho, com maior incidência de publicações entre 2015 e 2021. Na Figura 1, encontra-se apresentado o fluxograma PRISMA conforme proposto por Moher et al. (2009), contendo o fluxo de informações nas diferentes fases de elaboração e seleção dos artigos utilizados no presente trabalho.

Tabela 2. Abordagens utilizadas no levantamento de publicações.

Abordagem	Tema
1	Situação hídrica mundial e aos recursos propostos para que as indústrias possam estar utilizando de forma sustentável o reuso da água.
2	Uso de água nas indústrias, que é o foco do estudo, e a forma como essa água é tratada nas estações de tratamento atualmente.
3	Associação entre estas práticas por meio de artigos que tenham o mesmo nicho de trabalho, referente a reutilização de água residuária industrial.

**Figura 1.** Fluxo da informação com as diferentes fases de uma revisão sistemática. Fonte: Moher et al. (2009).

Os artigos utilizados para a discussão do estudo foram analisados em profundidade, considerando todo o conteúdo, de forma a sistematizar e sintetizar as contribuições ao tema de pesquisa e permitir uma discussão dos principais construtos encontrados. Os artigos foram selecionados de acordo com sua classificação Qualis Capes Sucupira, no período entre 2013 a 2016, com classificação mínima “B5” nas áreas de avaliação Ciências Ambientais ou Interdisciplinar.

Foi utilizado o parâmetro quantidade de citações para destacar a qualidade dos estudos selecionados na sua revisão sistemática da literatura. Além disso, foram excluídas das análises trabalhos provenientes da literatura cinzenta, tais como dissertações; teses; trabalhos de eventos, congressos e simpósios.

Resultados e discussão

Os resultados das buscas originadas a partir da utilização do diagrama de PRISMA (Figura 1), foram explorados e contribuíram a composição da Tabela 3, que fundamentou a etapa de discussões dos resultados apresentados nesta revisão sistemática.

Tabela 3. Referências bibliográficas selecionadas para comporem a presente revisão sistemática de literatura.

Periódico	Autoria	Ano	Título	Qualis/Capes	Citações
Revista Vértices	Almeida	2011	Aspectos legais para a água de reuso.	B4/Ciências Ambientais	34
Objetivo: Apresentar a regulamentação necessária para a prática de reuso da água.					
Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais	Avelar et al.	2021	Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reuso de água: 02 - planejamento técnico e estratégico.	B5/Ciências Ambientais	28
Objetivo: apresentar os elementos essenciais para o planejamento das ações de reuso de água, incluindo estudos de potencial, modalidades de financiamento e definição de parcerias.					
Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária	Bertoncini	2008	Tratamento de Efluentes e reuso da água no meio agrícola	- Ciências Ambientais	41
Objetivo: Alertar para os contaminantes presentes em esgotos, dejetos animais e efluentes agroindustriais, assim como para as vantagens e desvantagens do reuso na agricultura.					
Revista Brasileira de Desenvolvimento	Cardoso et al.	2020	Reutilização de água: uma alternativa para o desperdício e economia da água em residências.	B3/Ciências Ambientais	9
Objetivo: Tratar sobre a reutilização de água tendo em vista uma alternativa para o desperdício e economia da água em residências, demonstrando um projeto de gerenciamento da utilização da água de maneira mais efetiva e sem desperdício através da reutilização da água para uma residência unifamiliar.					
Revista Ciências Administrativas	Cristoforetti et al.	2004	O impacto da gestão ambiental na indústria brasileira.	B4/Ciências Ambientais	10
Objetivo: Analisar o impacto da gestão ambiental no cenário industrial brasileiro no âmbito das leis, metodologias e normatização.					
Industrial & Engineering Chemistry Research	Guelli et al.	2011	Water reuse and wastewater minimization in chemical industries using differentiated regeneration of contaminants.	A1/Ciências Ambientais	10
Objetivo: Estudar a implementação de WSD para suporte a software de otimização (GAMS) em um processo diferenciado de regeneração, tratando do funcionamento de um processo químico.					

Tabela 3. Continuação.

Periódico	Autoria	Ano	Título	Qualis/Capes	Citações
Revista Brasileira de Recursos Hídricos	Hespanhol	2002	Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos.	A2/Ciências Ambientais	59
			Objetivo: Apresentar o potencial do reuso da água no Brasil em suas diversas áreas.		
Revista Engenharia Sanitária e Ambiental	Oenning Junior e Pawlowsky	2007	Avaliação de tecnologias avançadas para o reuso de água em indústria metal-mecânica.	A2/Ciências Ambientais	13
			Objetivo: Avaliação técnica e econômica de cinco tecnologias de tratamento avançadas que possam proporcionar a reutilização do efluente dentro da unidade fabril.		
Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental	Moura et al.	2018	Implantação de sistema de conservação e reuso de água em terminal portuário de Salvador.	B4/Ciências Ambientais	9
			Objetivo: Reduzir a extração de água nos mananciais devido ao aproveitamento de uma fonte alternativa de água; reduzir a emissão de água pluvial na rede pública de drenagem através da reutilização da água de chuva; e reduzir a emissão de esgoto sanitário através da reutilização de água cinza.		
Traffic Safety and Ecology Review	Muha	2004	Effluent treatment model in washing stations for dangerous goods transport vehicles.	B1/Ciências Ambientais	5
			Objetivo: Averiguar as tecnologias especiais de lavagem no transporte de mercadorias perigosas.		
Revista Tecnologia & Sociedade	Odppes et al.	2018	Reuso de água em indústria de fabricação de estruturas em concreto: uma estratégia de gestão ambiental	B2/Interdisciplinar	27
			Objetivo: Analisar a oportunidade de redução do consumo de água potável em indústria de fabricação de estruturas em concreto, considerando requisitos quantitativos, qualitativos e econômico-financeiros.		
Revista de Saúde e Educação	Santos et al.	2020	Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de águas de uso e de reuso no Brasil	B5/Ciências Ambientais	35
			Objetivo: Estabelecer uma comparação entre os principais padrões de qualidade de água para contribuição à implementação e ao aprimoramento do instrumento de reuso no Brasil.		

Tabela 3. Continuação.

Periódico	Autoria	Ano	Título	Qualis/Capes	Citações
Revista Episteme Transversalis	Silva et al.	2019	Gestão da água: a importância de políticas públicas para a implementação do reuso de água no Brasil	B4/Interdisciplinar	11
	Objetivo: Descrever a importância de políticas públicas para a implementação do reuso de água no Brasil, através da exploração do Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos.				
Revista Engenharia Sanitária e Ambiental	Pohl e Lenz	2017	Utilização de efluente tratado em complexo industrial automotivo.	A2/Ciências Ambientais	17
	Objetivo: Realizar modificações nos sistemas produtivos e de tratamento de efluentes em um complexo industrial automotivo a fim de possibilitar a utilização do efluente tratado no sistema de torres de resfriamento.				
Ciência & Saúde Coletiva	Silveira e Araújo Neto	2014	Licenciamento ambiental de grandes empreendimentos: conexão possível entre saúde e meio ambiente.	B1/Interdisciplinar	30
	Objetivo: Explorar o debate sobre as relações entre o modelo de desenvolvimento vigente, os riscos, o ambiente e a saúde e discutir a importância da participação do setor saúde nos processos de licenciamento ambiental, instrumento da avaliação de impacto ambiental (AIA).				
Química Nova	Souza et al.	2010	Avaliação do desempenho de surfactantes para a solubilização de fases líquidas não aquosas em meio aquoso.	A2/Ciências Ambientais	34
	Objetivo: Avaliar a presença de líquidos de fase não aquosa (NAPLs) na subsuperfície.				
Journal of Environmental Health Science and Engineering	Žak e Rauckyte-Žak.	2021	Treatment of the railway freight wagon wash effluents by coagulation methods on accelerator reactor.	B2/Ciências Ambientais	95
	Objetivo: Apresenta resultados da pesquisa realizada em um sistema feito para pré-tratamento de efluentes produzidos no tratamento de água de superfícies sujas de meios de transporte ferroviário (RTMs) principalmente G, H, T e classes F incidentais de material rodante de acordo com a União Internacional de Ferrovias (IURs).				

Com as legislações em vigor o setor industrial tem maior responsabilidade pelos processos de poluição e gastos hídricos, devendo atentar a estratégias que possam reduzir os danos ambientais. Entra, com isso, o termo desenvolvimento sustentável e sustentabilidade nas indústrias. Silveira e Araújo (2014) alertam que, a utilização não sustentável desses recursos provoca mudanças ecológicas irreversíveis, como a escassez de água. Silveira e Araújo (2014) exploram em seu artigo o debate sobre as relações entre o modelo de desenvolvimento vigente, os riscos, o ambiente e a saúde e discute a

importância da participação do setor saúde nos processos de licenciamento ambiental, instrumento da avaliação de impacto ambiental (AIA) e conclui que há de se prever mecanismos institucionais e técnicos mais eficazes, para assegurar, de forma sistemática e mais efetiva, a participação do setor saúde nos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos.

Agência Nacional de Águas (ANA), ao discorrer sobre as fortes pressões exercidas no aumento do consumo de água na atualidade, afirmam que “são necessários investimentos em desenvolvimento tecnológico e na busca de soluções alternativas para a ampliação da oferta de água como, por exemplo, a utilização da água de reuso” (FIESP, 2005).

Braz (2020) traz o gerenciamento da utilização da água de maneira efetiva e sem desperdício que, apesar de tratar sobre águas residenciais, explora a importância da reutilização para o cenário atual da água. Como vantagens, o autor aborda a importância da redução do lançamento de efluentes diretos no meio ambiente, o estímulo do uso inteligente de águas potáveis e de melhor qualidade, o aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, diminuição de custos com empresa concessionária de água e oferecer uma visão mais sustentável para indústrias e empresas.

Guelli et al. (2011) tratam do reuso e reciclagem de águas residuais, como a metodologia baseada no diagrama de fontes de água (DFA), que é uma alternativa flexível e dinâmica para gerar cenários viáveis para o gerenciamento de redes de água, através de dois estudos de caso. Estes mostram a eficácia do reuso e consumo mínimo de água, aliado a um custo mínimo de operação, em diferentes cenários.

Hespanhol (2002) refere-se ao uso de efluentes tratados como um instrumento poderoso para restaurar o equilíbrio entre oferta e demanda de água em diversas regiões brasileiras, o que reforça ainda mais a importância do presente estudo para sustentabilidade, ressaltando a importância dos princípios técnicos para assegurar vantagens econômicas, sociais e segura, em termos de preservação ambiental e de proteção dos grupos de riscos envolvido. De acordo com Hespanhol (2002), a recuperação e a reutilização das águas residuais das estações de tratamento das indústrias, mostram-se uma opção atraente para minimizar a dependência das fontes de abastecimento de água, já que a escassez dessas fontes pode resultar em aumento no custo de abastecimento de água nas regiões industriais.

De acordo com Cristoforetti (2004), ao fazer uma análise teórica dos sistemas de licenciamento e gestão ambiental no setor industrial, traz que a gestão ambiental no Brasil está fortalecida quanto ao aspecto legal, porém ainda resta muito a fazer em termos de apoio financeiro, em termos de ampliação de ofertas de programas de financiamento de longo prazo e baixo custo. Atualmente, a indústria nacional está submetida a dois grandes instrumentos de pressão. De um lado, as imposições do comércio internacional com vistas à melhoria da competitividade e do outro, as questões ambientais e as condicionantes legais de gestão de recurso hídrico (Cristoforetti et al., 2004).

Almeida (2011) traz em discussão a regulamentação para utilização da água de reuso, de forma a assegurar a saúde do usuário e promover a preservação do meio ambiente. É favorável a utilização de água residuária, apontando questões sustentáveis e redução tarifária, mas vê necessidade da criação de normas para regulamentar o reuso de águas residuárias, a determinação de parâmetros de análise para garantir a qualidade da água e a criação de um arcabouço legal específico a fim de que esta solução não se transforme em outro problema, disseminando doenças e comprometendo a saúde humana.

Uma das alternativas que se têm apontado para o enfrentamento da demanda de água é o seu reuso, que serve como importante instrumento de gestão ambiental do recurso água e detentor de tecnologias já consagradas para a sua adequada utilização (Almeida, 2011).

Dessa forma, o reuso é definido pela Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020, como efluente proveniente de estação de tratamento de efluente, cujos processos de tratamento viabilizem o atendimento aos padrões de qualidade definidos para as modalidades de usos estabelecidas na Deliberação (Minas Gerais, 2020, art. 2º).

Estando dentro destes padrões exigidos, a água de reuso, dentro da ferrovia, em específico, pode ser utilizada com a finalidade de fazer a lavagem dos vagões tanques que carregam combustíveis. Essa água precisa estar em um parâmetro que não gere contaminação para os trabalhadores em contato com ela, pois apesar de não ser uma água tratada para consumo humano, não é necessária utilização de EPI's para manipulá-la.

Com isso, o reuso reduz a demanda sobre os mananciais, devido à substituição de água potável por uma de menor qualidade, quando a mesma é utilizada para fins menos nobre. Muitas das atividades industriais toleram água com grau de qualidade inferior ao da potável, o que favorece o método de reuso. Os padrões de qualidade para uso industrial dependem de como ela será aplicada. Assim, para cada tipo de processo existem tratamentos e aplicações específicas. Segundo Santos et al (2020), os reusos industriais da água incluem resfriamento, processamento, alimentação de caldeiras, lavagem, transporte, podendo também integrar o produto da indústria. Os requisitos de qualidade para muitos reusos industriais são em função da aplicação específica, sendo impossível de serem generalizados.

Pohl e Lenz (2017) trouxeram o estudo do reuso de efluente em um complexo industrial automotivo, a fim de possibilitar a utilização do efluente tratado no sistema de torres de resfriamento. No que se refere ao tratamento de água de abastecimento, para consumo industrial, de acordo com Pohl e Lenz (2017), a estratégia adotada consiste na utilização de sistemas de tratamento compostos por unidades nas quais são desenvolvidos processos físicos, químicos e biológicos, visando adequar as características da água às necessidades de processo.

No Brasil, segundo Almeida (2011), ainda existem poucas regulamentações específicas para o reuso industrial de efluente em vigor. No entanto, nos últimos cinco anos existem diversos estudos acerca do tema. Com isso, é interessante que modelos políticos, tecnológicos e legais de países que adotam esta prática, e trabalhos como este sejam estudados para agregar ao país este tipo de desenvolvimento sustentável. A Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020, sendo esta utilizada para o estado de Minas Gerais, estabelece as diretrizes, as modalidades e os procedimentos a serem observados na prática do reuso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETE) de sistemas públicos e privados, buscando a eficiência nos usos de recursos hídricos (Minas Gerais, 2020, art. 2).

No Brasil, não há regulamentação ou incentivos para tratamento e reuso de efluente de unidades de manutenção de ativos ferroviários, sendo a legislação aplicável referente ao lançamento de efluentes industriais em corpos d'água, Resolução CONAMA nº 357/2008 (Brasil, 2008) e CONAMA nº 430/2011 (Brasil, 2011). Outro documento utilizado como referência é o Manual de orientações para o setor industrial: conservação e reuso de água da Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2004).

Oening e Pawlowsky (2007) abordam análises e parâmetros técnicos das águas residuárias. Em seu trabalho foram levantados quatro potenciais locais para reuso e sugeridos critérios e diretrizes para cada um deles mediante informações coletadas na indústria e na literatura. A água residuária é inicialmente caracterizada quanto a cor, turbidez, pH, temperatura, DQO, alcalinidade, série de sólidos suspensos e totais (Oening Junior e Pawlowsky, 2007). Dentro da Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020 (Minas Gerais, 2020), tem-se que a turbidez deve ser inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL, sólidos totais dissolvidos inferior a 200 mg/L, pH entre 6,0 e 8,0, cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L. Nesse nível, serão geralmente necessários

tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração (ABNT, 1997).

É importante avaliar o consumo de água industrial, o que exige a elaboração de estudo dos processos existentes e de profissionais que sejam qualificados para o mesmo. Antes da implantação da prática de reuso é necessária uma avaliação de potencial com base nas características da água disponível para captação, do efluente gerado e da água para as aplicações do reuso, além dos padrões de emissão de efluentes. A qualidade da água de reuso é de responsabilidade do empreendedor, por isso, não existem critérios ou parâmetros definidos pela legislação. Alguns critérios são definidos de acordo com a sua utilização. A Tabela 4 demonstra o critério para os padrões de qualidade da água de reuso na modalidade industrial.

Tabela 4. Padrões de qualidade para reuso na modalidade “industrial”.

Finalidade	Padrão de qualidade
Operações e processos industriais, construção civil, mineração, processos de produção e demais atividades em suas expertises.	A qualidade da água para reuso para fins de utilização dentro do processo industrial será de responsabilidade do empreendedor, conforme os requisitos de qualidade do processo e as normas de segurança do trabalho.

Fonte: Minas Gerais (2020).

De acordo com orientações para o Setor Industrial (FIESP, 2004), para análise da implantação do reuso de efluentes na indústria, há duas alternativas a serem consideradas. A primeira delas, refere-se ao reuso macro externo, definido como o reuso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias ou outras indústrias. A segunda é o reuso macro interno, definido como o uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria, que é como ocorre para o reuso de efluentes dentro da ferrovia.

Odppes (2018) mostrou o reuso da água em indústrias de concreto, contribuindo para o presente trabalho com uma revisão sobre as características dos efluentes e as classes em que os reusos de água são divididos. O trabalho concluiu que o reuso de água pode ser considerado uma alternativa estratégica para a empresa, sobretudo em um cenário de cobrança pelo uso da água e de restrição em caso de escassez.

O reuso industrial de efluente pode ser dividido em duas classes, segundo Odppes (2018): a) macro externo, quando o efluente que se pretende reutilizar é proveniente de uma estação de tratamento de esgoto municipal ou de uma estação de tratamento de efluentes de outra indústria; b) macro interno, quando o efluente é gerado em outras atividades na própria indústria em que se deseja realizar o reuso. Essa última categoria subdivide-se em duas outras: 1) reuso direto (em cascata); 2) reuso de efluente tratado. As características dos efluentes industriais são inerentes a composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial.

Nas oficinas de manutenção de vagões tanques, objeto de estudo deste trabalho, é utilizada uma grande quantidade de água durante os processos de desgaseificação, lavagem e aferição de vagões. Levando em conta o histórico de 2018 e 2019, segundo dados da VLI Divinópolis, o consumo médio por ano de água foi de 1.333,02 m³, o que representa a demanda de 40 m³ por vagão. E uma das alternativas para diminuir este consumo, portanto, é utilizar água de reuso proveniente do sistema de tratamento de efluentes da própria empresa na gestão dos processos citados.

As águas que são tratadas na ETE da ferrovia são contaminadas por resíduos industriais (óleo, desengraxante e outros) e também por efluentes sanitários de uso humano, todos passíveis de tratamento. Os efluentes de características industriais e sanitárias tem tratamento preliminar na ETE composto de sistemas de processos físicos, químicos e biológicos, filtração e desinfecção do efluente de tratamento primário, tratamento sanitário por meio secundário e terciário, e o industrial desde o nível primário ao terciário.

Portanto, segundo Odppes (2018), este tipo de contaminação não seria um impeditivo para prática do reuso, pois essa água será utilizada em outras áreas industriais, e dentro da desgaseificação, lavação e aferição de vagões, a água de reuso tratada pode ser utilizada, pois estará dentro dos padrões que não causam insalubridade humana. Com isso, pode-se minimizar os impactos ambientais no processo de manutenção de uma frota de 400 vagões, reduzindo, o consumo de água da concessionária em aproximadamente 2.000 m³ de água, que se refere a 5 mil litros por vagão.

Não existem atualmente determinações que impõe que a água de aferição seja potável, nem procedimentos internos para isso. Os procedimentos adotados são testes laboratoriais internos e externos certificando os parâmetros da água de reuso, que analisam o pH, temperatura, cloro, óleos e graxas, coliforme total e coliforme termotolerantes, a fim de evitar possíveis contaminações para aqueles que manuseiam o efluente tratado dentro da ferrovia.

Moura et al. (2018) abordou o sistema de conservação e reuso de água em terminal portuário de Salvador, trazendo técnicas e estudo de caso no local, com a utilização do reuso de água. Mostra neste trabalho e demonstra o reuso como benefício, já que houve uma redução de mais de 50% no consumo de água, onde o consumo mensal caiu para 688 m³, trazendo uma economia de 939 m³ por mês e 11.268 m³ no ano. Segundo Moura (2018), o efluente de uma oficina de veículos ferroviários é gerado nos locais onde há lavagem de máquinas, peças ou pisos e nos locais onde há descartes de substâncias. O efluente gerado por atividades de limpeza de veículos pode conter quantidades significativas de óleos e graxas, sólidos em suspensão, metais pesados, surfactantes e substâncias orgânicas. Pode conter fluido hidráulico e óleo proveniente do motor e sistema de freios.

A recirculação do efluente na lavagem de veículos tem como um dos maiores problemas a redução do nível de óleos e graxas devido a presença de óleo em solução aquosa que ocorre sob quatro formas distintas: livre, disperso, emulsificado e solubilizado (Souza et al., 2010). Por fim, Souza et al. (2010) traz a avaliação do desempenho de surfactantes para a solubilização de fases líquidas não aquosas em meio aquoso, o que contribui para o presente trabalho quando disserta sobre a redução do nível de óleos e graxas devido a presença de óleo em solução aquosa, já que, no processo de lavação de vagões tanque, objeto de estudo do trabalho, pode ocorrer a contaminação da água que será reutilizada com óleos e graxa.

A prática de reuso macro interno pode ser implementada de duas maneiras. A primeira delas é o reuso em cascata. Nele, o efluente originado em um determinado processo industrial é diretamente utilizado em um processo subsequente, devido ao fato das características do efluente disponível serem compatíveis com os padrões de qualidade da água a ser utilizada. O segundo é o reuso de efluentes tratados, sendo o tipo de reuso mais discutido nos dias atuais que consiste na utilização de efluentes que foram submetidos a um processo de tratamento (Bertoncini, 2008). O autor aborda o tratamento de efluentes e reuso em meio agrícola. Seu trabalho agrega ao presente estudo a utilização da água tratada e os níveis de qualidade exigidos para água residuária no meio industrial (Bertoncini, 2008).

As atividades geradoras de efluente industrial são predominantemente relacionadas ao uso de água e a limpeza, como lavagem de máquinas, peças ou piso. A lavagem de máquinas ocorre quando as locomotivas ou máquinas de via passam por manutenção. Elas são posicionadas em uma plataforma específica para lavagem e com auxílio de uma máquina lavadora de alta pressão.

Segundo Hespagnol (2002), geralmente, para que seja possível obter água no grau de qualidade exigido para um determinado uso, é necessário associar duas ou mais técnicas de tratamento, que só poderão ser definidas com base nas características da água disponível e dos requisitos de qualidade exigidos para uso. Para fins industriais, já existe uma base de dados bastante extensa relacionada às principais tecnologias de tratamento disponíveis, assim como já existe no mercado uma ampla variedade de equipamentos e sistemas de tratamento de água, os quais são capazes de produzir água com os diversos níveis de qualidade exigidos.

Com isso, pode-se verificar que a principal preocupação com o tratamento para fins de reuso industrial trata-se da estratégia a ser desenvolvida para a obtenção dos melhores resultados para o atendimento das demandas de água nos vários níveis de qualidade exigidos (Bertoncini, 2008)

Dentro das oficinas da ferrovia, os vagões tanques são direcionados para a oficina de acordo com o vencimento das suas manutenções preventivas, corretivas e aferições previstas na regulação realizada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Os vagões tanques passam por manutenção preventiva anual e aferição a cada quatro anos. Ao chegar à oficina, os vagões passam pelos processos de fluxo simplificado do processo de desgaseificação, lavagem e aferição de vagões tanques. Não existe por meio da ANTT um regulamento ou determinação de que a água de aferição seja a da concessionária e não se tem características específicas para esta água de aferição.

Avelar (2021) disserta sobre a gestão ambiental e metodologias que devem ser adotadas para um reuso eficiente e de qualidade. Apresenta os elementos essenciais para o planejamento das ações de reuso de água, incluindo estudos de potencial, modalidades de financiamento e definição de parcerias. Com o estudo, fica evidenciada a importância de se ter um projeto bem elaborado e estruturado para um bom tratamento e utilização da água de reuso. Para que todo esse processo seja realizado, dentro dos padrões sustentáveis propostos, é necessária uma gestão ambiental, que deve ser entendida como uma forma de conscientizar as ações antrópicas no meio ambiente, garantindo a preservação e conservação da qualidade ambiental, e o desenvolvimento sustentável (Avelar et al, 2021).

Muha (2004) e Žak e Rauckyte-Žak (2021) trazem pesquisas realizadas em um sistema feito para pré-tratamento de efluentes produzidos no tratamento de água de superfícies sujas de meios de transporte ferroviário (RTMs). Segundo esses autores, a composição e o nível de carga de contaminação nas águas residuais também podem ser resultado de danos mecânicos incidentais nas embalagens que protegem os materiais durante as operações de transporte.

A implementação das políticas públicas de forma articulada, integrando seus sistemas de gerenciamento e gestão, exige a compreensão complexa do território e a construção de uma gestão transdisciplinar (Silva et al., 2019) como o próprio nome do estudo mostra, Silva et al. (2019) aborda a importância de políticas públicas para a implementação do reuso de água no Brasil. Explora o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos que analisa anualmente tais recursos e destaca os aspectos legais e as políticas públicas para fomentar o reuso de água no Brasil. Mostra que o país não é engajado em políticas públicas que fomentem a preservação da natureza e recursos disponíveis, mas aos poucos a realidade vem mudando. Isso demonstra a importância deste trabalho, que trata da sustentabilidade no meio industrial. É necessário um esforço conjunto do governo e da sociedade, para conscientizar a população dos benefícios imediatos e a longo prazo da gestão sustentável da água.

Uma das principais contribuições deste estudo está associada a ampliação da visão a respeito da sustentabilidade que envolve a reutilização de águas. É possível enxergar a importância da aplicação de ações sustentáveis dentro das empresas na busca de um processo equilibrado. Para cada tipo de atividade dentro da ferrovia, existe um critério de qualidade da água para reuso, sendo este tratamento dependente do tipo de resíduo presente no efluente.

Tratando-se da aplicabilidade do reuso dentro das indústrias, é importante salientar a necessidade de profissionais qualificados em cada processo, tanto na desgaseificação, lavagem e aferição dos vagões, como também nas etapas de tratamento do efluente. Cabe ressaltar também a importância da execução da de reuso de efluentes, principalmente no setor industrial, destacando o ferroviário, considerando a demanda de água em seus processos.

Nota-se, portanto, que todo o corpo de artigos selecionados para este estudo, é favorável ao reuso de efluente no meio industrial, a fim de gerar maior sustentabilidade e diminuir gastos. São poucos os trabalhos que dissertam especificamente sobre o setor ferroviário, mas diversos outros meios industriais são encontrados. Isso reforça a importância do estudo, e evidencia que o reuso de efluente industrial é eficaz e encontra-se consolidado em diversos setores.

Conclusões

Com base nas informações do presente trabalho, foi possível observar que existem estudos direcionados para a prática de reuso da água tratada em indústrias, mas poucos direcionados para as ferrovias. Com isso, destaca-se a importância de apresentar, na teoria e prática, modelos de sistemas de técnicas e informações utilizadas para a metodologia de reuso dos efluentes ferroviários, bem como investir e frisar a importância da sustentabilidade dentro do setor industrial ferroviário.

O posicionamento dos autores descritos nesta revisão bibliográfica são unânime com relação benefícios do reuso de efluentes tratados nas indústrias. A possibilidade da reutilização dos efluentes tratados impacta positivamente o setor ambiental e sustentável dentro das empresas. Sendo assim, um dos desafios encontrados é adequar a qualidade da água necessária para cada uso, estando dentro dos parâmetros necessários para seus fins.

Os benefícios descritos sobre o reuso de efluente industrial podem indicar a importância e relevância de estudos com esta temática, que poderão servir como apoio para trabalhos futuros e que possa despertar um maior interesse pela questão hídrica e sustentabilidade em geral nas indústrias ferroviárias, de pequeno e grande porte.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma NBR 13969: Tanques Sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

Almeida, R. G. Aspectos legais para a água de reuso. **Revista Vértices**, v. 13, n. 2, p. 31-43, 2011.

Avelar, P. S.; Silva Junior, L. C. S.; Lima, M. A. M.; Santos, A. S. P.; Alencar, K. M. C.; Gonçalves, R. F.; Vieira, J. M. P. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reuso de água: 02 - planejamento técnico e estratégico. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 18-35, 2021. <https://doi.org/10.9771/gesta.v9i2.43710>

Bertoncini, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 2, p. 152-169, 2008.

Minas Gerais. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 65, de 18 de junho de 2020**. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reuso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

Brasil. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2020.

Brasil. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627>. Acesso em: 12 out. 2020.

Brito, K. P.; Beserra, R. W.; Pedrosa, I. C.; Silva, E. V.; Silva, F. J. A água como fator indispensável à vida e a importância da química na estação de tratamento. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. ?-?, 2018.

Cardoso, D. K.; Fernandes, L. V. O.; Fernandes, C. E. F.; Fernandes, L. I. F. A.; Argolo, E. D. Reutilização de água: uma alternativa para o desperdício e economia da água em residências. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24566-24581, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-056>

Carvalho, N. L.; Hentz, P.; Silva, J. M.; Barcellos, A. L. Reutilização de águas residuárias. **Revista Monografia Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 3164-3171, 2014. <https://doi.org/10.5902/2236130812585>

Cristoforetti, M.; Papa, M. T. H.; Garcia, M. P. O impacto da gestão ambiental na indústria brasileira. **Revista Ciências Administrativas**, v. 10, n. 2, p. 274-290, 2004.

FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e reuso de água**: manual de orientações para o setor industrial. São Paulo: FIESP, 2004. v. 1. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2021.

Goulart, M.; Callisto, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v. 2, n. 1, 2003.

Guelli, S. M.; Xavier, M. F.; Silva, A.; Souza, A. A. U. Water reuse and wastewater minimization in chemical industries using differentiated regeneration of contaminants. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 50, n. 12, p. 7428-7436, 2011. <https://doi.org/10.1021/ie200305z>

- Hespanhol, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n4.p75-95>
- Holanda, M. M. A racionalidade ambiental e a teoria do decrescimento para um mundo intergeracional. In: Pompeu, G. V. M.; Pompeu, R. M. (Orgs.). **A racionalidade ambiental, o diálogo dos saberes e o papel da universidade**. Porto Alegre: Fundação Fênix, 2020. p. 143-163.
- Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA Statement. **BMJ**, v. 339, b2535, 2009. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
- Moura, A. C. C.; Linhares, C. C.; Grillo, C. G.; Viana, C. M.; Costa, F. P. Implantação de sistema de conservação e reuso de água em terminal portuário de Salvador. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 34-58, 2018. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e1201834-58>
- Muha, R. Wastewater treatment model in washing stations for vehicles transporting dangerous goods. **Promet**, v. 16, n. 5, p. 277-283, 2004.
- Odppes, R. J.; Michalovicz, D. T.; Bilotta, P. Reuso de água em indústria de fabricação de estruturas em concreto: uma estratégia de gestão ambiental. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 14, n. 34, p. 82-100, 2018. <https://doi.org/10.3895/rts.v14n34.7662>
- Oenning Junior, A.; Pawlowsky, U. Avaliação de tecnologias avançadas para o reuso de água em indústria metal-mecânica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 305-316, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000300010>
- Pohl, S. C.; Lenz, D. M. Utilização de efluente tratado em complexo industrial automotivo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 551-562, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016122371>
- Santos, A. S. P.; Gonçalves, R. F.; Melo, M. C.; Lima, M. A. M.; Araujo, B. M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reuso no Brasil. **SUSTINERE - Revista de Saúde e Educação**, v. 8, n. 2, p. 437-462, 2020. <https://doi.org/10.12957/sustinere.2020.48976>
- Silva, F. P.; Carvalho, C. V. A.; Cardoso, A. M. Gestão da água: a importância de políticas públicas para a implementação do reuso de água no Brasil. **Episteme Transversalis**, v. 10, n. 2, p. 309-322, 2019.
- Silveira, M.; Araújo Neto, M. D. Licenciamento ambiental de grandes empreendimentos: conexão possível entre saúde e meio ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3829-3838, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.20062013>
- Souza, E. F.; Peres, M. R.; Moraes, S. B. Avaliação do desempenho de surfactantes para a solubilização de fases líquidas não aquosas em meio aquoso. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 532-538, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000300008>
- Souza, S. M. A. G. U.; Xavier, M. F.; Silva, A.; Souza, A. A. U. Water reuse and wastewater minimization in chemical industries using differentiated regeneration of contaminants. **Industrial and Engineering Chemical Research**, v. 50, p. 7428-7436, 2011. <https://doi.org/10.1021/ie200305z>
- Tozato, H. C.; Dubreuil, V.; Mello-Théry, N. A. Tendências e rupturas climato-hidrológicas no sítio Ramsar Parna Pantanal (MT, Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 164-184, 2013. <https://doi.org/10.5380/abclima.v13i0.34111>

Žak, S., Rauckyte-Žak, T. Treatment of railroad car washing effluents by coagulation methods in an accelator reactor. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 19, p. 1399-1412, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00695-w>



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.